Vol.13, No.1, Spring 2024, pp.195-216 ISSN (Print):2322-1682 ISSN (Online):2383-3076

Journal of Geography and Environmental Hazards

RESEARCH ARTICLE DOI: 10.22067/geoeh.2022.76403.1219 Open access

Investigating the Atmospheric Structure of the Von Phenomenon at the Time of Forest Fires in Northern Iran

Faramarz Khoshakhlagh[a], Hasan Hajimohammadi[b], Hosein Koshky[C*]

[a] *Associate Professor in Natural Geography,University of Tehran, Tehran, Iran*
[b] *PhD Candidate in Climatology,Tarbiat Modares University , Tehran, Iran*
c PhD Candidate in Climatology, University of Tehran, Tehran, Iran

Received: 11 May 2022 ***Revised: 16 June 2022*** ***Accepted: 22 June 2022***

Abstract

In order to investigate the atmospheric mechanisms governing the occurrence of the Von phenomenon at the time of forest fires in northern Iran, four types of data were used in the research. So, changes in parameters such as temperature, pressure and wind were investigated. Networked data from the National Environmental Prediction / Atmospheric Science Centers (NCEP/NCAR) and the European Center for Medium-Term Atmospheric Prediction (ECMWF) were then used to explain the structure of the atmosphere. Modis sensor images were used to study the surface temperature of the earth and suspended airborne particle model was used to track air masses. It was found that during the studied period, the event of January 25-31, 2007 was one of the strongest and most pervasive phones that occured in the region. The results showed that by forming a high pressure cell located in the south of the country and a low pressure cell in the wind protection part of Alborz mountain, it has created a strong pressure gradient and caused the south current to affect the northern regions of Iran. Accordingly, during a static-dynamic process, a wind turbine rotational current has been formed in the Alborz mountain range wind turbine. Moreover, by the ascent of the air mass on the Alborz mountain range, its moisture discharge, the passage of the air over the mountain, and its flow in the region and the heatless heat, the hot and dry air mass entered the region which had been accompanied by strong winds affecting fire-prone areas. With an increase in wind speed and a positive temperature drop, a sudden jump and increase in temperature had taken place. Trackings also showed that the main source of flow entering the region is in the northern part of the Persian Gulf and northeastern Africa.

Keywords: Wind Phone, Fire, Pressure Gradient, Northern Iran, Synoptic

* .Corresponding author: Hosein Koshky Email: koshky_hosein@yahoo.com Tel:+989392896470
How to cite this Article: khoshakhlagh, F., HajiMohammadi, H., & koshky, H. (2024). Investigation of the atmospheric structure of the Von phenomenon at the time of forest fires in northern Iran. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, *13*(1), 195-216.
DOI: 10.22067/geoeh.2022.76403.1219

Geography and Environmental Hazards
Volume 13, Issue 1 - Number 49, Spring 2024
https://geoeh.um.ac.ir
https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76403.1219
جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال سیزدهم، شمارهٔ چهل و نهم، بهار ۱٤۰۳، صص ۲۱٦-۱۹۵

مقاله پژوهشی

بررسی ساختار جوی پدیده فون در زمان رخداد آتش‌سوزی جنگل‌های شمال ایران

فرامرز خوش‌اخلاق، دانشیار آب و هواشناسی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران
حسن حاجی‌محمدی، دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران
حسین کوشکی[1]، دانشجوی دکتری آب و هواشناسی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت: ۱٤۰۱/۲/۲۱ تاریخ بازنگری: ۱٤۰۱/۳/۲٦ تاریخ تصویب: ۱٤۰۱/٤/۱

چکیده

درک درست ساختار جوی که سبب رخداد آتش‌سوزی جنگل‌ها و مراتع می‌شوند با توجه به اهمیت این منابع طبیعی برای انسان عاملی بسیار مهم برای پیش‌بینی به‌موقع و انجام اقدامات لازم برای جلوگیری از به وجود آمدن خسارت جبران‌ناپذیر توسط این بلای طبیعی است. به‌منظور بررسی سازوکارهای جوی حاکم بر رخداد پدیده فون در زمان رخداد آتش‌سوزی جنگل‌های شمال ایران از چهار نوع داده در تحقیق استفاده شد. ابتدا با اخذ داده‌های مربوط به آتش‌سوزی از اداره کل منابع طبیعی استان‌های گیلان، مازندران و گلستان دوره موردنظر شناسایی گردید. در ادامه با دریافت داده‌های دیده‌بانی شده ایستگاه‌های هواشناسی واقع در دامنه‌های رو و پشت به باد رشته‌کوه البرز تغییرات پارامترهایی چون دما، فشار و باد بررسی شد. سپس از داده‌های شبکه‌بندی شده مربوط به مراکز ملی پیش‌بینی محیطی/ علوم جو (NCEP/NCAR) و مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت جوی (ECMWF) برای تبیین ساختار جو استفاده شد. برای بررسی دمای سطح زمین از تصاویر سنجنده مودیس و برای ردیابی توده‌های

[1]نویسنده مسئول: ۰۹۳۹۲۸۹٦٤۷۰ Email:koshky_hosein@yahoo.com

نحوه ارجاع به این مقاله:

خوش اخلاق، فرامرز؛ حاجی محمدی، حسن؛ کوشکی، حسین؛ ۱٤۰۳. بررسی ساختار جوی پدیده فون در زمان رخداد آتش سوزی جنگل‌های شمال ایران. جغرافیا و مخاطرات محیطی. ۱۳(۱). صص ۲۱٦-۱۹۵

https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76403.1219

هوا از مدل پسگرد ذرات معلق بهره گرفته شد. مشخص شد که طی دوره موردمطالعه، رویداد ۲۵ تا ۳۱ ژانویه ۲۰۰۷ از قوی‌ترین و فراگیرترین فون‌های به وقوع پیوسته در منطقه است. نتایج نشان داد با تشکیل یک سلول پرفشار واقع در جنوب کشور و یک سلول کم‌فشار در قسمت بادپناه کوهستان البرز، گرادیان شدید فشاری را به وجود آورده و سبب شده تا جریان جنوبی مناطق شمالی ایران را تحت تأثیر قرار دهد. بر این اساس، طی یک فرآیند استاتیکی–دینامیکی جریان چرخندی بادپناهی در بادپناه رشته‌کوه البرز شکل گرفته است. از طرفی با صعود توده‌هوا بر روی رشته‌کوه البرز و همچنین تخلیه رطوبتی آن و عبور بسته هوا از روی کوهستان و شارش یافتن آن در منطقه و گرمایش بی دررو، توده‌هوایی گرم و خشک وارد منطقه شده که این شرایط با وزش بادهای شدید همراه شده و مناطق مستعد برای آتش‌سوزی را تحت تأثیر قرار داده است. با افزایش سرعت باد و فرارفت مثبت دما، پرش ناگهانی و افزایش دما به وجود آمده است. ردیابی بسته هوا نیز نشان داد سرمنشأ اصلی جریان وارد شده به منطقه در محدوده شمال دریای خلیج‌فارس و شمال شرق آفریقاست.

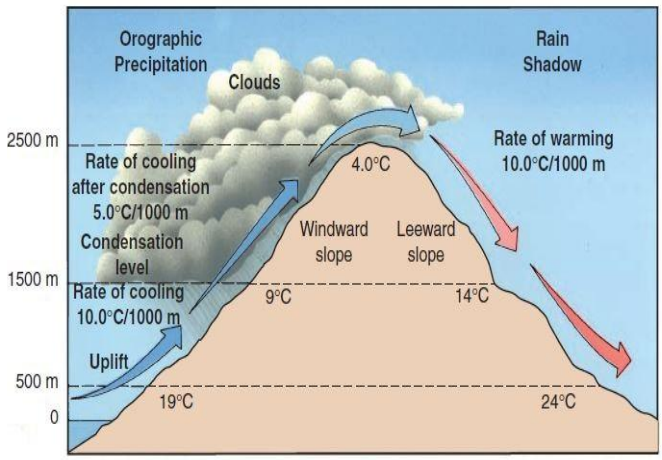
کلیدواژه‌ها: باد فون، آتش‌سوزی، گرادیان فشار، شمال ایران، سینوپتیک

۱- مقدمه

گرمباد پدیده‌ای میان‌مقیاس به‌صورت باد شدید، گرم و خشکی است که در شرایط خاصی از الگوهای همدیدی از جانب کوه به سمت دشت می‌وزد و آثار خود را در نواحی باد پناه کوهستان بر جای می‌گذارد (گافین[1]،۲۰۰۲). زمانی که در دامنه رو به باد هوای مرطوب به‌صورت بی دررو به سمت قله کوهستان صعود می‌کند، در صورت داشتن رطوبت کافی اشباع شده و پس از تشکیل ابر با ریزش باران رطوبت خود را از دست داده، خشک می‌شود و با گذر از کوهستان در دامنۀ پشت به باد، نزول و به‌صورت بی دررو گرم شده و خشک‌تر و گرم‌تر از هوای اولیه در دامنه رو به باد خواهد شد(عزیزی و همکاران، ۱۳۸۸). در اثر این پدیده، ضمن کاهش نم نسبی افزایش ناگهانی دما به‌اندازه ۱۰ الی ۱۵ درجه سلسیوس در مناطق تحت تأثیر (باد پناه کوهستان) روی می‌دهد که طی چند ساعت اتفاق می‌افتد(مک گوان[2] و همکاران، ۱۹۹٦). از دید حرکت‌شناسی پدیده فون، شارش شکل گرفته به‌صورت یک توده‌هوای نزول‌کننده از روی شیب سلسله جبال که از ارتفاعات به سمت دامنه کوهستان جریان می‌یابد، اولین بار توسط هان در سال ۱۸٦٦ بر روی کوه‌های آلپ مشاهده و آن را به‌طور وسیع موردبررسی قرار داد (به نقل از شیرزادی،۱۳۷۱). پیدایش این پدیده توأم با باد گرم و خشک بوده که با سرعتی نسبتاً زیاد در دامنه و دشت‌های منتهی به شیب کوهستان همراه با دید

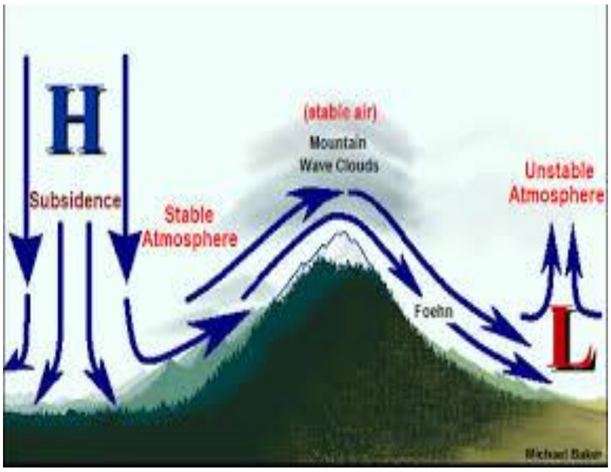
1 Gaffin
2 McGowan

افقی بسیار خوب ظاهر می‌گردد. افزایش دمای ناشی از این پدیده زیاد بوده، به‌طوری‌که گاهی در مدت کمتر از چندین ساعت در یک منطقه وسیعی افزایش دما تا ۳۰ درجه سانتی‌گراد گزارش می‌شود. این افزایش دما توأم با باد شدید و خشکی زیاد توده‌هوای مذبور، سبب زهکش شدن منابع رطوبتی منطقه موردتهاجم، می‌گردد که این امر خود سبب کاهش شدید نم نسبی منطقه تا زیر ۱۰ درصد خواهد شد (شیرزادی، ۱۳۷۱)؛ اما کلمپ و لی‌لی[1] (۱۹۷۵) تحلیل کاملی از حرکات دامنه‌ای قوی باد توسط امواج تشکیل شده در جوار بادپناه کوهستان ارائه دادند. نظریه آن‌ها به این اصل اشاره می‌کند که تنها در صورتی می‌توان به اطلاعات بیشتری در این زمینه رسید که جریانات بالاسوی باد و نیمرخ قائم هوا توسط مقادیر محدود و محتمل توجیه شوند. ازاین‌رو مکانیزم‌های متفاوت با توجه به ۳ عامل دما، رطوبت نسبی و نیمرخ قائم باد می‌توانند باعث جریان حرکت نزولی هوا در قسمت بادپناه کوهستان شود. هواشناسان باید این اصل را بپذیرند که دامنه کاملی از مکانیزم‌های فیزیکی برای توجیه فون لازم است؛ زیرا این پدیده در شرایط مختلف رخ می‌دهد به‌گونه‌ای که وقتی گرادیان فشار بسیار بالا در دو طرف کوهستان به وجود آید، ابرهای باران‌زا از سمت بادگیر کوه به‌طرف بادپناه کشیده می‌شوند. شرایط جوی در قسمت بادگیر آرام و بارانی می‌باشد اما با عبور از کوهستان و رسیدن به سطح زمین، سبب به وجود آمدن طوفان‌های شدید می‌گردد. این گونه از فون را فون تیره‌وتار یا مه گونه نیز می‌گویند. این پدیده برای اولین بار در نیمه اول قرن پیش توسط محققین سوئیسی کشف شد. از ویژگی‌های این گرمباد می‌توان به‌سرعت بالای باد و جابجایی گردوغبار اشاره کرد(ریچنر[2] و همکاران، ۲۰۰۷)(شکل‌های ۱ و ۲).



شکل ۱- اثر توپوگرافی بر روی توده‌هوا در برخورد با کوهستان

1 Klemp & Lilly
2 Richner



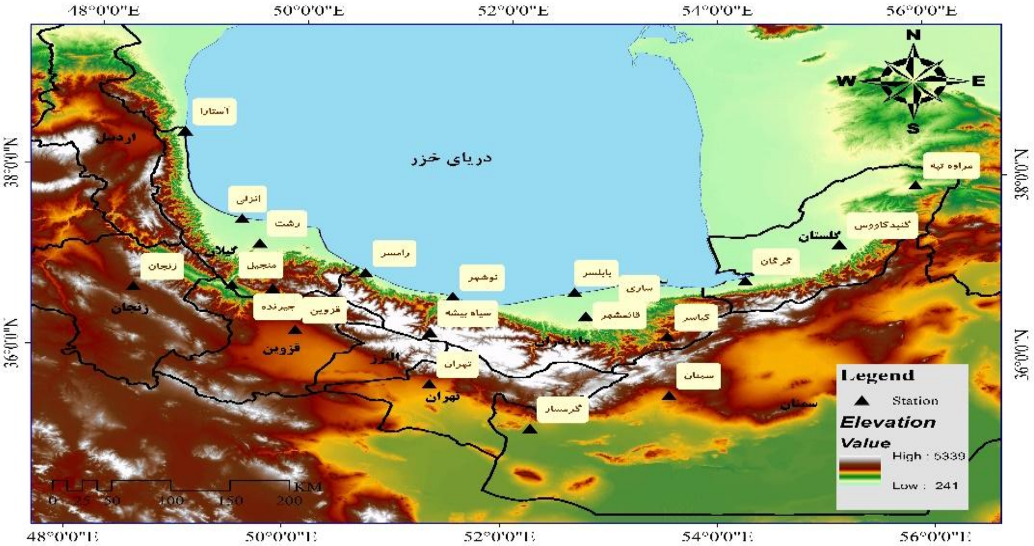
شکل ۲- نمای کلی از وضعیت هوا در زمان رخداد فون

از سایر تحقیقات صورت پذیرفته در جهان در زمینه ساختار و اثر فون می‌توان به کار دروبنسکی و همکاران (۲۰۰۳)، کیلی(۲۰۰٤)، ریچنر(۲۰۰۷)، دیناپولی (۲۰۰۸)، ریچنر(۲۰۱۳)، گروسنور(۲۰۱٤) و در ایران نیز می‌توان به کارهای مفیدی و همکاران (۲۰۱۵)، قویدل رحیمی و همکاران (۲۰۱٦) نیز شیرزادی (۱۳۷۱)، **پرنیان(۱۳۸۷)**، **پورچماچایی(۱۳۸۵)**، عزیزی و همکاران (۱۳۸۸) و **رنجبر سعادت آبادی (۱۳۹٤)** اشاره نمود. از تحقیقات اخیر نیز می‌توان به تحقیق **حاجی محمدی و همکاران (۱۳۹٦)** با عنوان بررسی ساختار جو در زمان رخداد آتش‌سوزی در شمال ایران اشاره کرد. رخداد این پدیده در نواحی شمالی کشور می‌تواند سبب آتش‌سوزی‌های گسترده‌ی جنگل‌ها و مراتع شده که با توجه به اهمیت این منابع طبیعی، مطالعه سازوکار حاکم و پیش‌بینی آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- موقعیت منطقه موردمطالعه

جنگل‌های شمال ایران که به جنگل‌های رویشی هیرکانی یا خزری شهرت دارند. در استان‌های گیلان، مازندران و گلستان قرار دارند این جنگل‌ها که به برکت رطوبت ناشی از دریای خزر رشد و تکامل یافته‌اند، به‌صورت نواری با طول تقریبی ۸۰۰ کیلومتر و عرض ۲۰ تا ۷۰ کیلومتر و با مساحتی حدود ۱.۸٤ میلیون هکتار، نیمرخ شمالی البرز از آستارا تا گلیداغی را در برمی‌گیرند.



شکل ۳- موقعیت جغرافیایی منطقه موردمطالعه و ایستگاه‌های هواشناسی مورداستفاده در تحقیق

۲-۲- داده‌های مورداستفاده

اطلاعات مورداستفاده در این تحقیق شامل داده‌های آتش‌سوزی و هواشناسی است. اطلاعات مربوط به توزیع زمانی، مکانی و سطح آتش‌سوزی‌ها از اداره کل منابع طبیعی استان‌های گیلان، مازندران و گلستان طی دوره ۲۰۰۶ تا ۲۰۱۵ اخذ و داده‌های مربوط به عناصر جوی شامل دما، رطوبت، باد و فشار برای سه استان شمالی و استان‌های سمنان، تهران و قزوین از سازمان هواشناسی کشور تهیه گردید. همچنین برای تحلیل شرایط سینوپتیکی روزهای آتش‌سوزی داده‌های فشار سطح دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل، دمای هوا، رطوبت نسبی، مؤلفه‌های مداری و نصف‌النهاری باد از تارنمای متعلق به مرکز ملی پیش‌بینی محیطی/ علوم جو (NCEP/NCAR[1]) و مرکز اروپایی پیش‌بینی میان‌مدت جوی (ECMWF[2]) استفاده شد. پس از بررسی شرایط آب و هوایی در دامنه‌های جنوبی و شمالی البرز اقدام به تهیه نقشه‌های سینوپتیکی شد. برای محاسبه دمای سطح زمین نیز از تصاویر ماهواره‌ای سنجنده مودیس با تفکیک ۲۵۰ متر و درنهایت برای بررسی و شناخت منشأ توده‌هوای واردشده به منطقه در زمان رخداد آتش‌سوزی از مدل لاگرانژی (HYSPLIT[3]) به روش پسگرد از روز دوم تا روز پایانی آتش‌سوزی استفاده شد.

1 *National centers for Environmental Prediction/ National Center for Atmospheric Research*
2 *European Center for Medium – Range Weather Forecasts*
3 *HYbrid-Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory (HYSPLIT)*

۲-۳- روش انجام پژوش

برای شناسایی پدیده فون در محدوده مطالعه بر اساس گفته ریچنر و همکاران (۲۰۰٦) و گافین (۲۰۰۷) ابتدا از داده‌های ایستگاهی واقع در دامنه‌های شمالی و جنوبی رشته‌کوه البرز استفاده شد. بر این اساس با جنوبی شدن جریان باد در دامنه‌های جنوبی و افزایش ناگهانی سرعت باد و تغییر جهت آن در دامنه‌های شمالی و در ادامه کاهش و افزایش ناگهانی دما به ترتیب در دامنه‌های جنوبی و شمالی و از طرفی تغییر در دمای نقطه شبنم در ایستگاه‌های رو به باد و پشت به باد کوهستان، معیار اصلی برای شناسایی پدیده فون در منطقه بود. در ادامه بر اساس تحقیق اسپیرز و همکاران (۲۰۱۰) بر اساس تشکیل سامانه‌های پرفشار سطحی در قسمت رو به باد کوهستان و سلول کم‌فشار یا هسته چرخندی در دامنه پشت باد کوهستان، اقدام به شناسایی پدیده فوق شد.

۳- نتایج و بحث

نتایج حاصل از بررسی‌های انجام شده نشان داد که طی دوره آماری ده‌ساله فراگیرترین فون به وقوع پیوسته در منطقه موردمطالعه مربوط به تاریخ ۲۵ تا ۳۱ ژانویه ۲۰۰۷ می‌باشد. بر این اساس به‌صورت روزانه و ساعتی شرایط جوی در بازه زمانی یاد شده مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت. جهت بررسی وضعیت سیستم‌های همدیدی در زمان رخداد پدیده فون که همراه با حریق بوده، مطالعات به چهار بخش تقسیم شد. در ابتدا با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های واقع در دامنه‌های شمالی و جنوبی وضعیت پارامترهای هواشناختی موردبررسی قرار گرفت. در ادامه به بررسی سامانه‌های فشاری در منطقه پرداخته شد تا مشخص گردد در سطح زمین و ترازهای میانی جو آرایش الگوهای فشار به چه صورت بوده و به بررسی و تبیین ساختار جو پرداخته شد. در مرحله بعد سعی شد برای ٦ ایستگاه نماینده در دامنه شمالی البرز مدل پسگرد ذرات معلق اعمال گردید تا منشأ و مسیر توده‌هوای ورودی به منطقه شناسایی گردد. درنهایت با استفاده از تصاویر سنجنده مودیس دمای سطوح مشخص شود.

۳-۱- وضعیت پارامترهای جوی در دامنه‌های شمالی و جنوبی البرز

به‌منظور بررسی شرایط هواشناسی در زمان وقوع گرمباد، اقدام به بررسی وضعیت عناصر آب‌وهوایی در ایستگاه‌های منتخب شد (جداول ۱ و ۲). بررسی‌ها نشان داد متوسط پارامترهای دمایی دامنه‌های جنوبی نسبت به شمالی بسیار کمتر بوده و تقریباً اختلافی بیش از ۵ درجه سانتی‌گراد وجود دارد. از طرفی فشار در ایستگاه‌های نماینده در دامنه جنوبی به دلیل صعود هوا کاهشی است. در دامنه‌های شمالی با نزول هوا و افزایش دما یک مرکز کم‌فشار سطحی ایجاد و درنتیجه کاهش فشار مشاهده می‌شود. در قسمت بادپناه

کوهستان از روز دوم رطوبت نسبی رو به کاهش بوده که در روز ۲۸ ژانویه به کمترین مقدار خود رسیده است.

جدول ۱- میانگین عناصر جوی در دامنه جنوبی البرز

روزها	متوسط سرعت باد	فشار سطح ایستگاه	دمای خشک	دمای تر	میانگین دمای روزانه	دمای نقطه شبنم	رطوبت نسبی
۲۵ ژانویه ۲۰۰۷	۱.۵	۸۸۵.۶	۴.۶	۱.۶	۵	۳.۲-	۵۹.۷
۲۶ ژانویه ۲۰۰۷	۱.۲۵	۸۸۲.۳	۴.۸	۱.۹	۵.۸	۲.۹-	۵۹.۳
۲۷ ژانویه ۲۰۰۷	۰.۳۶	۸۷۹.۳	۵.۲	۱.۳	۶.۱	۵.۴-	۵۰.۴
۲۸ ژانویه ۲۰۰۷	۱.۸۳	۸۷۴.۸	۶.۴	۱.۹	۶.۵	۵.۹-	۴۴.۳
۲۹ ژانویه ۲۰۰۷	۷.۱	۸۷۰.۱	۷.۴	۲.۲	۷.۵	۶.۹-	۳۶.۶
۳۰ ژانویه ۲۰۰۷	۳.۹	۸۷۰	۸.۳	۳.۴	۹	۵-	۳۹.۱
۳۱ ژانویه ۲۰۰۷	۴	۸۷۱	۶.۹	۳.۳	۷.۲	۲.۱-	۵۳.۶

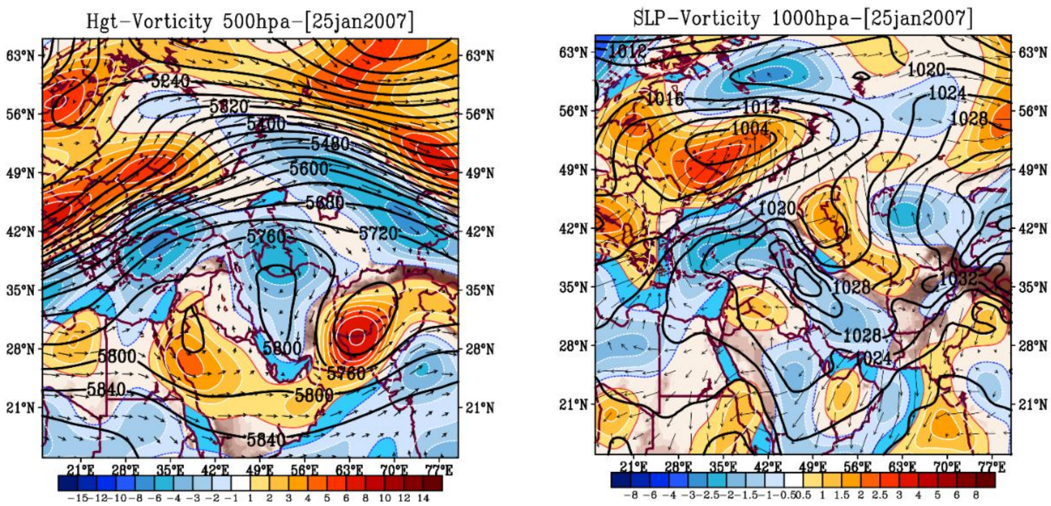
جدول ۲- میانگین عناصر جوی در شمال البرز

روزها	متوسط سرعت باد	فشار سطح ایستگاه	دمای خشک	دمای تر	میانگین دمای روزانه	دمای نقطه شبنم	رطوبت نسبی
۲۵ ژانویه ۲۰۰۷	٦.٥	۱۰۲۱	۱۰.۷	۷.٥	۱۱.۳	۳.۱	٦۸
۲٦ ژانویه ۲۰۰۷	۲.٥	۱۰۰٥	۱۱.٤	۷.٦	۱۲.۹	۲.۹	٦۰.۷
۲۷ ژانویه ۲۰۰۷	۳.۷	۱۰۰۲	۱۰.۸	۷.٥	۱۲	۳.۱	٦٤
۲۸ ژانویه ۲۰۰۷	۱۲.٥	۹۹٤.٥	۱٤.۱	۸.۳	۱٤.۹	۰.٥	٤۷.٥
۲۹ ژانویه ۲۰۰۷	۱۲.۹	۹۹٦.۷	۱۰.٦	۷.٥	۱٤.۱	۰.٤	٦٤
۳۰ ژانویه ۲۰۰۷	٥.۱	۹۹۷	۹.٤	٦.٤	۱۰.۲	٤.۱	۷۲
۳۱ ژانویه ۲۰۰۷	۹.۹	۹۹٦	۱۱.٦	۸.٥	۱۳.٦	٤.۸	٦۸.۸

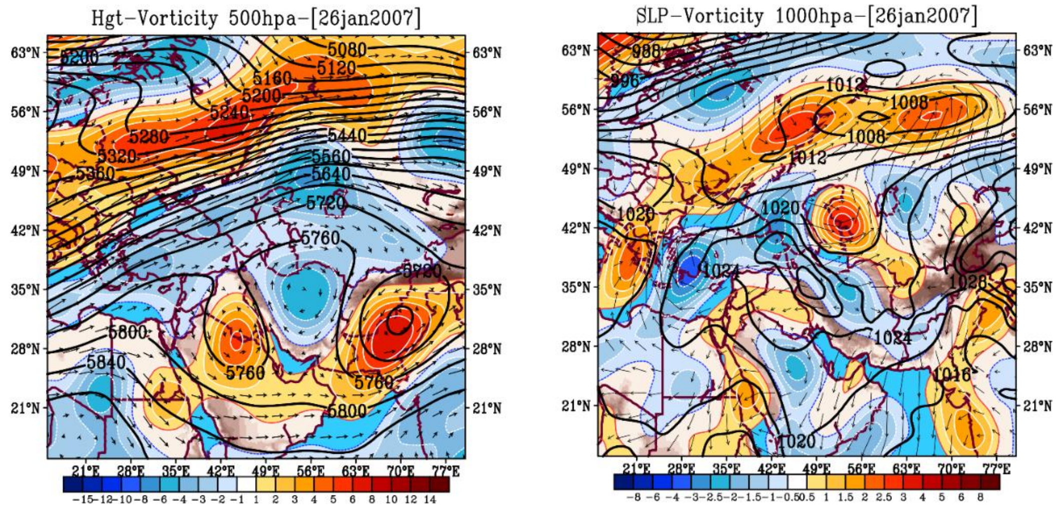
۳-۲- وضعیت فشار تراز دریا، ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال و تاوایی

با بررسی وضعیت فشار در تراز دریا در روز نخست مشخص شد که سلول پرفشاری بر روی نیمه غربی ایران تشکیل شده که ضمن تشکیل آن، جریان ساعتگردی بر منطقه حاکم شده که بیشینه این وضعیت مستقر بر جنوب کشور می‌باشد. در شرق اروپا سلول کم‌فشار قوی تشکیل شده که فشار مرکزی آن کمتر از ۱۰۰٤ هکتوپاسکال بوده که زبانه‌ای از این کم‌فشار تا جنوب دریای خزر کشیده شده است. این شرایط سبب شده تا جریان تاوایی مثبتی از شمال دریای خزر تا شمال شرق کشور به وجود آید. با گرادیان فشاری که بین دو سامانه ایجاد شده، جریان جنوبی در نیمه شمالی ایران ایجاد و شرایط برای انتقال هوای عرض‌های پایین‌تر به عرض‌های بالا صورت پذیرد. در تراز میانی بر روی کشور پشته قوی تشکیل شده که سبب شده در غرب این سامانه جریان غربی از حالت مداری خارج و به نصف‌النهاری تغییر پیدا کرده است، همچنین بر روی دریای سرخ کم ارتفاعی تشکیل و با تاوایی مثبت همراه شده است. با صعود هوا از روی مناطق غرب و جنوب غرب و انتقال آن با همگرایی فوقانی که بر روی پشته ایجاد شده، با فرونشست هوا و واگرایی سطحی شرایط برای عبور بسته هوا از روی البرز فراهم شود (شکل ٤). در روز ۲٦ ژانویه پشته تراز میانی قوی‌تر شده و کل محدوده کشور را در بر گرفته است. از طرفی در شرق و غرب این سامانه ناوه‌های حاصل از این پشته نیز عمیق‌تر شده و همراه با تاوایی قوی مثبت می‌باشند. با جریان واچرخندی به وجود آمده بر

روی ایران سبب شده تا با عبور پربند ۵۷٦۰ ژئوپتانسیل متر از روی سواحل خزری شرایط را برای فرونشست بسته هوا فراهم نماید. در سطح زمین کم‌فشار وقع در شرق اروپا به‌طرف شمال روسیه منتقل شده و جریان بسیار قوی تاوایی مثبت را به همراه دارد. از طرفی در سطح زمین هسته تاوایی مثبت واقع بر جانب شمال دریای خزر قوی‌تر و متمرکزتر شده است. این شرایط باعث شده تا شاخه شمالی جریانات شمال آنتی سیکلون واقع در غرب و جنوب غرب کشور به‌سوی نواحی خزری شارش یابد (شکل ۵). در روز بعد، از شدت‌جریان ساعتگرد واقع در غرب و شمال غرب کاسته شده که این شرایط در قسمت‌های شمالی نیز با تضعیف نسبی کم‌فشار واقع بر روی منطقه همراه شده است؛ اما با ورود زبانه‌ای از کم‌فشار بسیار قوی واقع در عرض‌های جنب قطبی شرایط برای جریان سیکلونی در منطقه فراهم می‌شود. در تراز میانی نیز هسته پر ارتفاع متمرکزتر و معطوف به نیمه شمال شرقی کشور شده و در قسمت جنوبی خود ناوه بسیار عمیقی را تجربه می‌نماید. به‌طوری‌که دو هسته بسیار قوی ناپایداری یکی بر روی خلیج‌فارس و دیگری بر شرق پاکستان منطبق می‌باشد (شکل ٦).

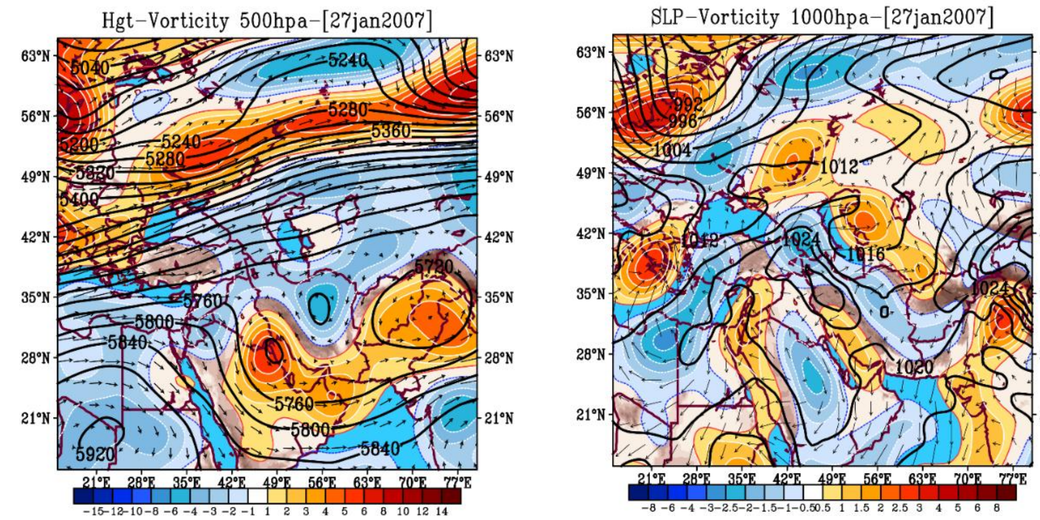


شکل ٤- وضعیت فشار تراز دریا و تاوایی سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (سمت راست)، تاوایی و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (سمت چپ) برای تاریخ ۲۵ ژانویه ۲۰۰۷

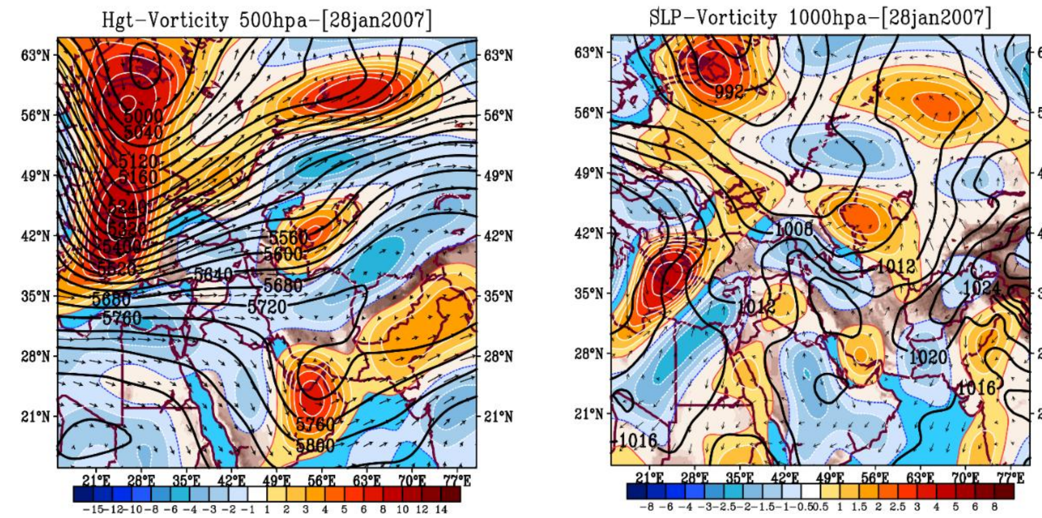


شکل ۵- وضعیت فشار تراز دریا و تاوایی سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (سمت راست)، تاوایی و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (سمت چپ) برای تاریخ ۲۶ ژانویه ۲۰۰۷

با حرکت جنوب سوی کم‌فشار قطبی زبانه‌ای از آن تا جنوب دریای خزر وارد شده که این شرایط باعث شده با برخورد زبانه کم‌فشار مذکور با پرفشار واقع بر روی زاگرس، گرادیان شدید فشاری بر شمال غرب ایران و نواحی غرب خزری ایجاد گردد. با این وضع شرایط آنتی سیکلونی محدوده یاد شده را در بر گرفته است. در سمت مقابل و بر جانب شمال و شرق خزر هسته تاوایی مثبتی به وجود آمده و ناپایداری حاصل از این فرآیند را به همراه خود برای منطقه به همراه دارد. در تراز میانی به‌موازات تغییرات فشار تراز دریا، ناوه عمیقی در محدوده طول‌های ۲۰ تا ۲۸ درجه شرقی و ۳۵ تا ۷۰ درجه شمالی به وجود آمده است. بر روی ناحیه خزری نیز موج‌کوتاهی ایجاد شده که سبب شده هسته ناپایداری بین دریای خزر و دریاچه آرال به وجود آمده است (شکل ۷).



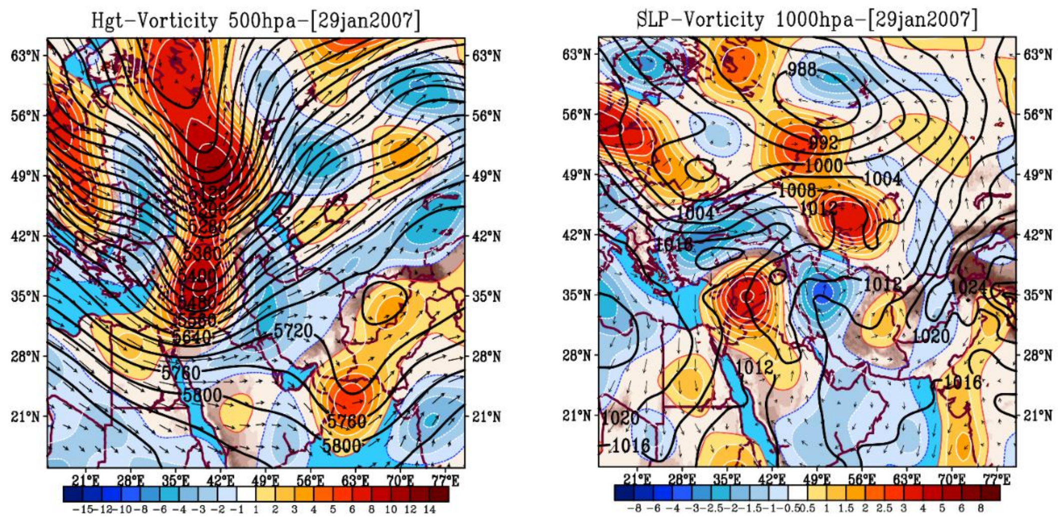
شکل ۶- وضعیت فشار تراز دریا و تاوایی سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (سمت راست)، تاوایی و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (سمت چپ) برای تاریخ ۲۷ ژانویه ۲۰۰۷



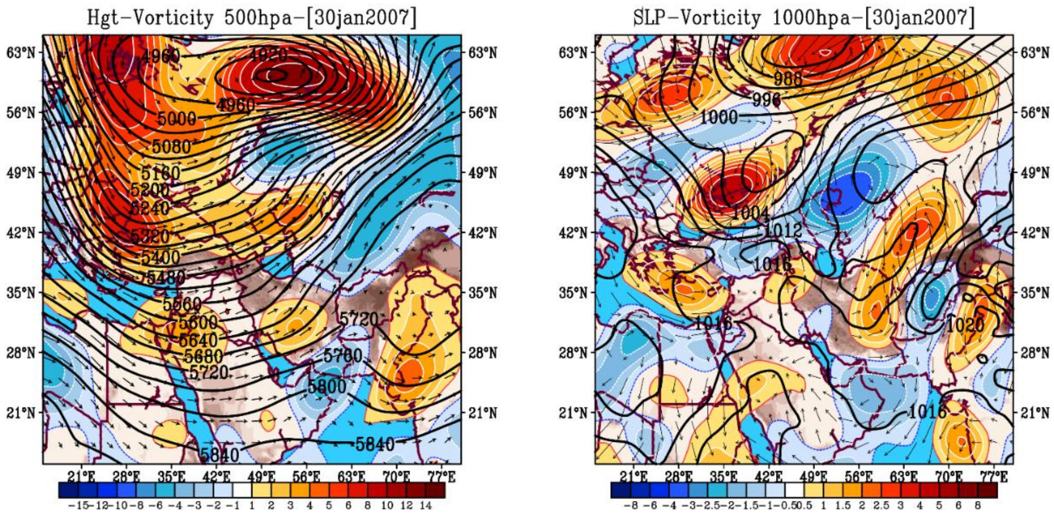
شکل ۷- وضعیت فشار تراز دریا و تاوایی سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (سمت راست)، تاوایی و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (سمت چپ) برای تاریخ ۲۸ ژانویه ۲۰۰۷

در روز ۲۹ ژانویه در دامنه‌های جنوبی البرز جریان تاوایی منفی بسیار قوی در سطح زمین به وجود آمده که با جریان تاوایی منفی واقع در شمال دریای مدیترانه ترکیب شده‌اند. از طرفی در دامنه‌های شمالی به دلیل نفوذ زبانه کم‌فشار جریان تاوایی مثبت بسیار قوی در محدوده به وجود آمده که همگرایی سطحی را به همراه دارد. با جنوبی شدن جریانات بر روی منطقه خزری ضمن تسهیل در عبور توده‌هوا از روی کوهستان، با

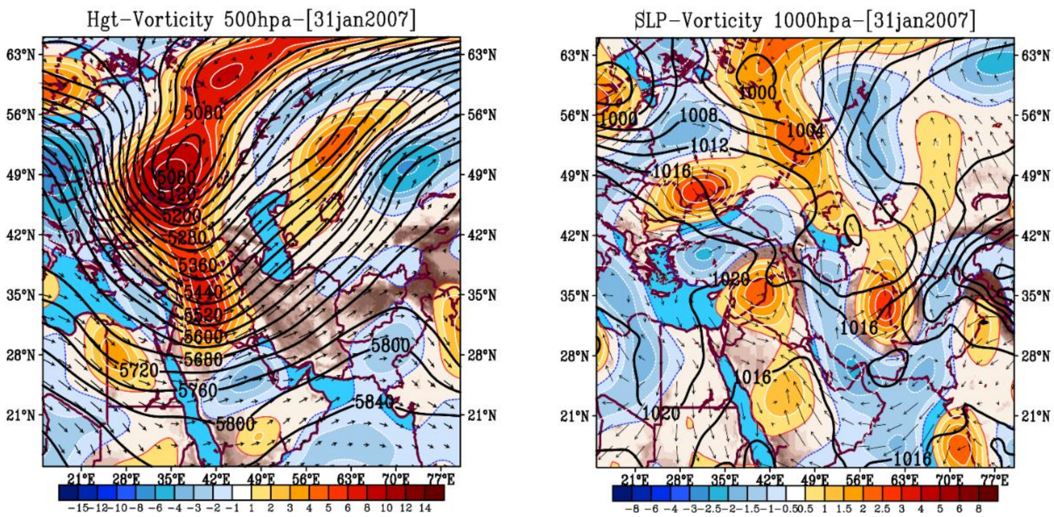
نزول خود در دامنه‌های شمالی با افزایش دما به‌صورت بی‌دررو هوای گرم همراه با وزش باد را به همراه دارد. در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز ناوه حاصل از کم‌فشار قطبی بر روی منطقه عمیق‌تر شده و در ضلع شرقی این ناوه جریان ساعتگرد قوی منطبق بر جنوب رشته‌کوه البرز تشکیل و تقویت شده است (شکل ۸). در روز ۳۰ ژانویه ناوه مذکور قوی‌تر شده و منطقه وسیعی را تحت استیلای خود دارد. محور ناوه به‌گونه‌ای است که سبب شده تا بر روی دریای سرخ و خلیج‌فارس جریان مثبت تاوایی ایجاد و ضمن آن جهت باد به سمت شمال باشد. همین امر در عبور هوا از روی البرز نقش مهمی را ایفا می‌کند. در سطح زمین با تشکیل پرفشاری در جنوب دریای سیاه و ورود آن به نواحی خزری، جریان قوی تاوایی منفی بر روی دریای خزر به وجود آمده است. با بررسی بردار باد مشخص شد که با فرونشست هوا بر روی منطقه جریان قوی واگرایی سطحی نیز به وجود آمده و جریان شمالی را برای ناحیه خزری ایجاد کرده است (شکل ۹). در روز ۳۱ ژانویه محور ناوه تراز میانی از حالت شمال-جنوب به شمال غرب-جنوب شرق تغییر کرده است. این تغییر سبب شده تا هوای ساکن واقع در ایران مرکزی وادار به حرکت شمال سو شده و به عرض‌های بالاتر حرکت نماید. با بررسی وضعیت فشار و تاوایی سطح زمین نیز مشخص شد که به دلیل ورود پربند ۱۰۱۲ هکتوپاسکال به مناطق شمالی و شرق کشور تاوایی مثبت افزایش یافته اما در نیمه غربی ضمن ایجاد تاوایی منفی یک جریان بسیار قوی جنوبی ایجاد کرده که به‌صورت جنوب به شمال از خلیج‌فارس تا مرکز دریای خزر ادامه دارد (شکل ۱۰).



شکل ۸- وضعیت فشار تراز دریا و تاوایی سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (سمت راست)، تاوایی و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (سمت چپ) برای تاریخ ۲۹ ژانویه ۲۰۰۷



شکل ۹- وضعیت فشار تراز دریا و تاوایی سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (سمت راست)، تاوایی و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (سمت چپ) برای تاریخ ۳۰ ژانویه ۲۰۰۷

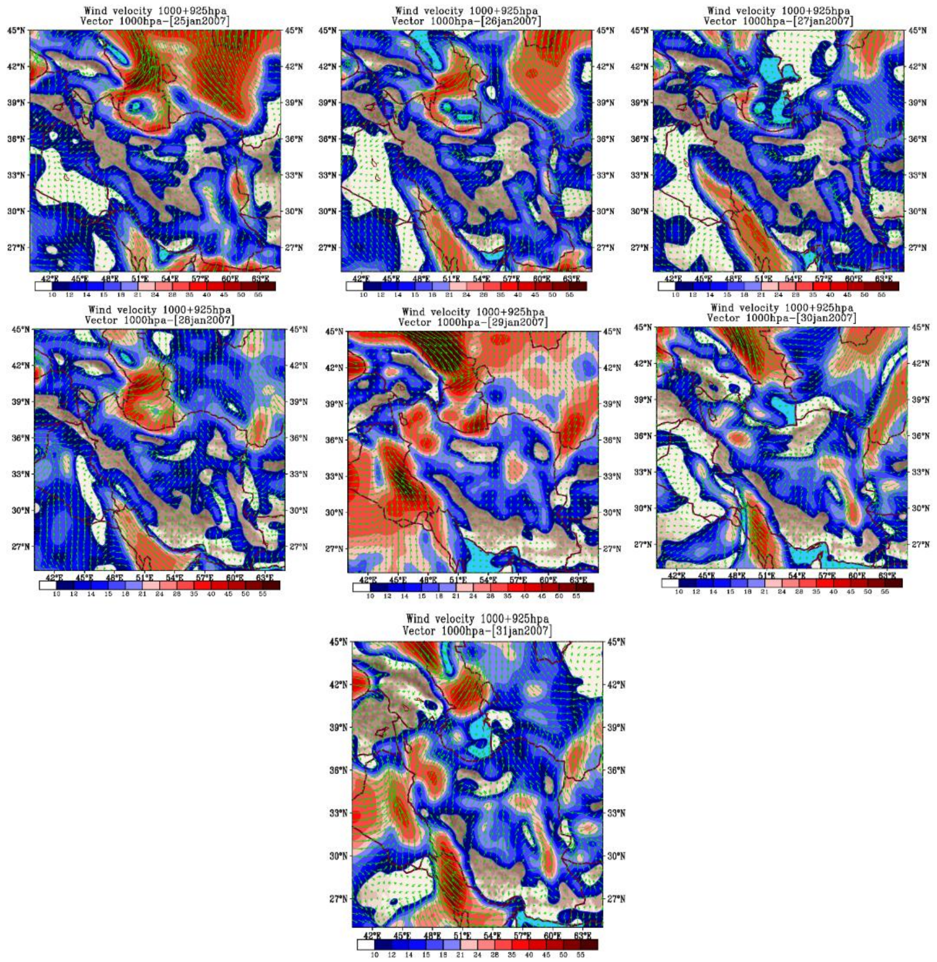


شکل ۱۰- وضعیت فشار تراز دریا و تاوایی سطح ۱۰۰۰ هکتوپاسکال (سمت راست)، تاوایی و ارتفاع ژئوپتانسیل تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال (سمت چپ) برای تاریخ ۳۱ ژانویه ۲۰۰۷

۳-۳- وضعیت سرعت باد در لایه‌های زیرین جو

با بررسی سرعت باد در لایه‌های زیرین جو مشخص شد که متوسط سرعت باد در روز نخست آتش‌سوزی در محدوده خزری به بیش از ۲۸ متر بر ثانیه رسیده است. این وضعیت از شرق استان اردبیل شروع و تا شرق استان گلستان ادامه دارد. در روز دوم دو هسته جداگانه بیشینه سرعت باد یکی منطبق بر استان مازندران و دیگری بر روی استان گیلان است که ادامه این وضعیت بر روی مناطق مرکزی دریای خزر

به بیش از ۳۵ متر بر ثانیه می‌رسد. در روز ۲۷ ژانویه از شدت هسته‌های تشکیل شده کاسته شده ولی هم چنان سرعت وزش باد در منطقه بالا می‌باشد. در روز ۲۸ ژانویه با تشکیل هسته سرعت باد که از شمال غرب کشور تا ایران مرکزی ادامه دارد، با نزدیک شدن به رشته‌کوه البرز به‌جز در مناطقی همچون استان تهران، به بیش از ۱٤ متر بر ثانیه رسیده که با عبور از کوهستان در دامنه‌های پشت به باد، نزدیک به ۳۰ متر بر ثانیه رسیده است. روز ۲۹ ژانویه به شدت بادهای دامنه‌های رو به باد افزوده شده است. بدین‌گونه که در محدوده شمال استان یزد و آذربایجانات دو هسته قوی سرعت باد تشکیل و با هجوم به سمت عرض‌های بالاتر، از محدوده شرق استان گیلان تا شرقی‌ترین نقطه استان گلستان را تحت تأثیر خود قرار داده است. ملاحظه می‌شود که در استان مازندران بیشینه سرعت باد با بیش از ٤۵ متر بر ثانیه منطقه را در نوار ساحلی درنوردیده است. در روز ۳۰ ژانویه از شدت بادهای منطقه خزری جز در نیمه غربی این ناحیه کاسته شده و بیشتر منطبق بر نوار ساحلی می‌باشد. در روز ۳۱ ژانویه نیز یا سرعت گرفتن باد در مناطق غرب کشور، جریانات وارد منطقه خزری شده بیشترین تأثیرگذاری را در غرب ناحیه خزری می‌توان مشاهده نمود. با حرکت از مناطق غربی به شرق از سرعت باد کاسته شده است (شکل ۱۱).

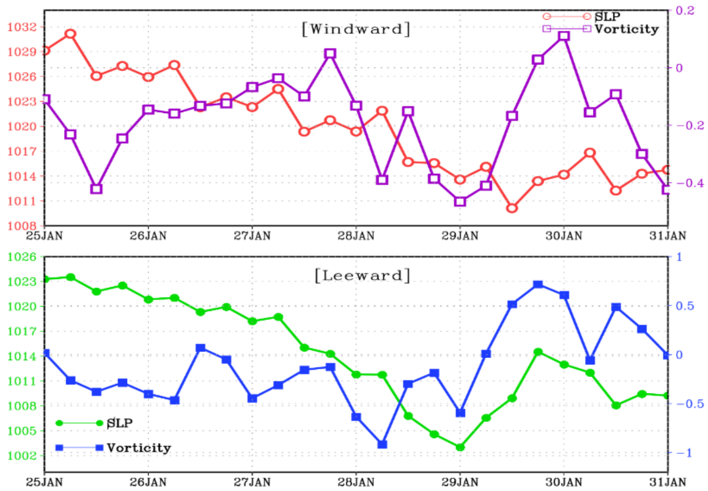


شکل ۱۱- وضعیت سرعت باد در لایه‌های زیرین جو (متوسط گیری شده برای تراز ۱۰۰۰ تا ۹۲۵ ه پ) از ۲۵ تا ۳۱ ژانویه ۲۰۰۷

۳-٤- وضعیت فشار تراز دریا و تاوایی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال در محدوده رو به باد و پشت به باد کوهستان

به‌منظور بررسی وضعیت فشار تراز دریا و تاوایی تراز ۱۰۰۰ هکتوپاسکال در محدوده رو به باد و پشت به باد کوهستان از متوسط منطقه‌ای این دو پارامتر به‌صورت ساعتی (هر ٦ ساعت یکبار) برای دوره ۲۵ تا ۳۱ ژانویه ۲۰۰۷ استفاده شد. بررسی‌ها نشان داد در محدوده رو به باد کوهستان فشار تراز دریا از ۱۰۳۲ هکتوپاسکال در روز نخست تا ۱۰۱٤ هکتوپاسکال متغیر بوده و از روز اول تا روز پایانی با کاهش نسبی فشار همراه بوده است. وضعیت تاوایی نیز جز در روز ۳۰ ژانویه در ساعت ۰۰ گرینویچ هرگز مثبت نبوده و همواره در طول دوره منفی می‌باشد. در دامنه‌های پشت به باد نیز تغییرات فشار در روزهای نخست روندی ملایم داشته و در روز ۲۸ ژانویه با شیبی تند و ناگهانی از مقدار آن کاسته شده است. طی این وضعیت تاوایی

از حالت منفی خارج و مثبت شده که بیشینه آن در ۲۹ ژانویه ساعت ۱۸ گرینویچ می‌باشد. با مقایسه فشار تراز دریا در سوی کوهستان مشخص می‌شود که طی کاهش فشار در دامنه‌های رو به باد در طی دوره آتش‌سوزی، فشار در مناطق پشت به باد با افزایشی ۸ هکتوپاسکالی همراه شده است (شکل ۱۲).



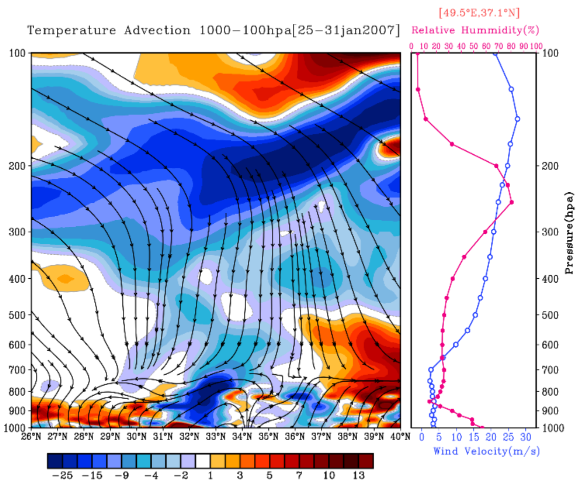
شکل ۱۲- وضعیت فشار تراز دریا و تاوایی تراز ۱۰۰۰ ه پ در محدوده رو به باد و پشت به باد کوهستان (متوسط گیری شده برای طول‌های ٤٨ تا ٥٧ درجه شرقی برای هر دو سمت-عرض جغرافیایی برای محدوده رو به باد ۳۰ تا ۳۵ و برای پشت به باد کوهستان ٣٦ تا ٤٠ درجه شمالی)

۳-۵- وضعیت دما و رطوبت

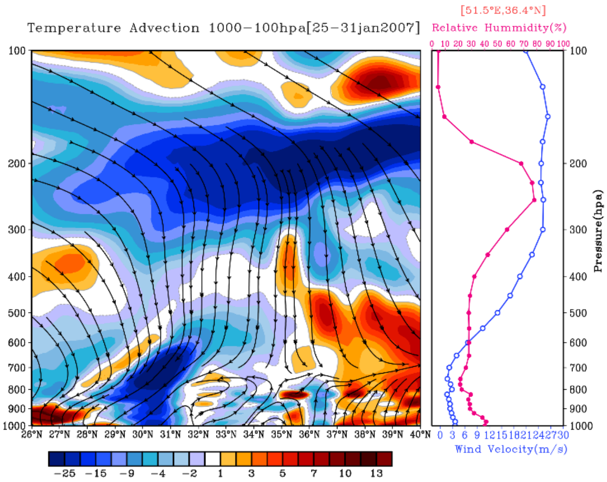
به‌منظور بررسی تغییرات دما و رطوبت در منطقه خزری اقدام به تهیه نیمرخ مقطع قائم جو برای پارامتر فرارفت دما و رطوبت نسبی شد. در همین راستا سه طول جغرافیایی به‌عنوان نماینده انتخاب و تغییرات دما در راستای نصف النهارات از عرض ٢٦ تا ٤٠ درجه شمالی موردبررسی قرار گرفت. برای رسیدن به این هدف متوسط کل دوره محاسبه گردید. در شکل ۱۳ در محدوده رو به باد کوهستان جز در پاره‌ای از مناطق، از ۳۱ تا ٣٦ درجه شمالی و از تراز ۱۰۰۰ تا ۱۵۰ هکتوپاسکال فرارفت سرد رخ داده که بیشینه آن در تراز ۲۰۰ هکتوپاسکال با ۲۵- درجه سانتی‌گراد بود؛ اما با فرونشست هوا، مابین طول‌های ۳۷ تا ٤٠ درجه شمالی، از تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال فرارفت مثبتی به وقوع پیوسته که بیشینه آن در تراز ۹۰۰ هکتوپاسکالی با بیش از ۱۲ درجه سانتی‌گراد در کل دوره است. با بررسی نمودار نقطه‌ای نیز مشاهده شد بیشینه رطوبت نسبی بین ترازها ۳۰۰ تا ۲۰۰ هکتوپاسکال بوده و با کاهش ارتفاع از مقدار رطوبت نسبی نیز کاسته شده که از تراز ۸۰۰ هکتوپاسکال تا سطح ۱۰۰۰ با نرخی افزایشی همراه شده است. نتایج حاصل از بررسی سرعت باد نیز نشان

داد از تراز ۱۰۰ تا ۷۰۰ هکتوپاسکال سرعت باد تقریباً ثابت بوده اما از آن به بعد سرعت باد به بیش از ۲۵ متر بر ثانیه رسیده است.

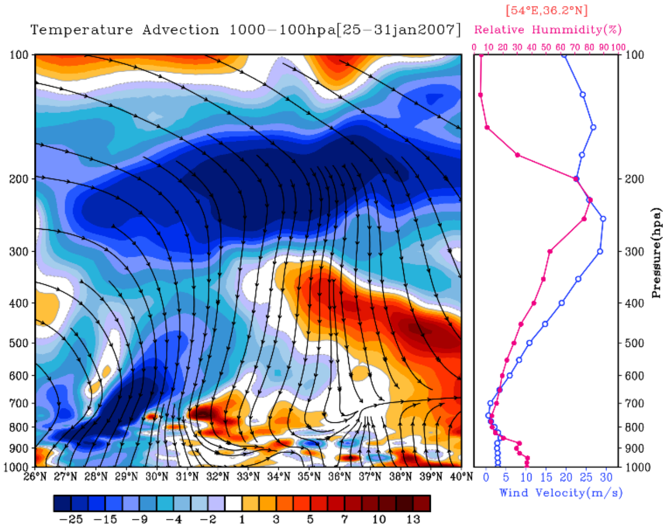
در شکل ۱٤ نیز وضعیت تقریباً به‌مانند شکل ۱۳ است. در برخی نقاط مقادیر فرارفت مثبت دما با انتقال به ترازهای بالاتر، از تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال شروع و تا سطح زمین ادامه دارد. جریان پایین‌سو حاکم نشان می‌دهد که از طول ۳٤ درجه به بالاتر جریان جنوب سویی در لایه‌های زیرین به وجود آمده که ضمن آن با عبور بسته هوا از روی کوهستان و سرازیر شدن آن در دامنه‌های بادپناه به دلیل نرخ افزایش دما با نزول آن بسته هوا نسبت به شرایط اولیه خود تا بیش از ۸ درجه سانتی‌گراد افزایش دما دارد. تغییرات رطوبت نسبی و باد نیز به ترتیب بیشینه این دو در ترازهای بالاتر از ٤۰۰ هکتوپاسکال رخ داده است. در شکل ۱۵ هسته فرارفت منفی دما واقع در ترازهای فوقانی منطقه وسیعی از عرض ۲۸ تا ۳۸ درجه را مابین ترازهای ۳۰۰ تا ۱۵۰ هکتوپاسکال را در بر گرفته است. از طرفی از ۳٤ درجه به بالاتر و از تراز ۳۰۰ هکتوپاسکال تا سطح زمین فرارفت گرمی صورت پذیرفته که دارای دو بیشینه یکی در تراز ٤۰۰ و دیگری مابین تراز ۹۰۰ تا ۱۰۰۰ هکتوپاسکال می‌باشد. در دامنه‌های جنوب نیز با جنوب شدن جریانات در برخی از مناطق فرارفت گرم صورت پذیرفته ولی به‌مانند شرایط پشت به باد کوهستان نیست. تغییرات نمایه قائم رطوبت نسبی و سرعت باد نیز نشان داد از تراز ٤۰۰ تا سطح زمین جوی نسبتاً خشک در منطقه حکم فرماست. از طرفی این خشکی با وزش بادهای شدید همراه بوده که با نزدیک شدن به سطح زمین از مقدار آن کاسته شده است.



شکل ۱۳- نمودار مقطع قائم فرارفت دما برای طول ٤۹.٥ درجه شرقی و عرض ۲٦ تا ٤۰ درجه شمالی (سمت چپ)، نمودار مقطع قائم تغییرات رطوبت و سرعت باد برای نقطه ٤۹.٥ درجه شرقی و ۳۷.۱ درجه شمالی (سمت راست)-متوسط گیری شده برای کل دوره



شکل ۱٤- نمودار مقطع قائم فرارفت دما برای طول ۵۱.۵ درجه شرقی و عرض ۲٦ تا ٤۰ درجه شمالی (سمت چپ)، نمودار مقطع قائم تغییرات رطوبت و سرعت باد برای نقطه ۵۱.۵ درجه شرقی و ۳٦.٤ درجه شمالی (سمت راست)-متوسط گیری شده برای کل دوره

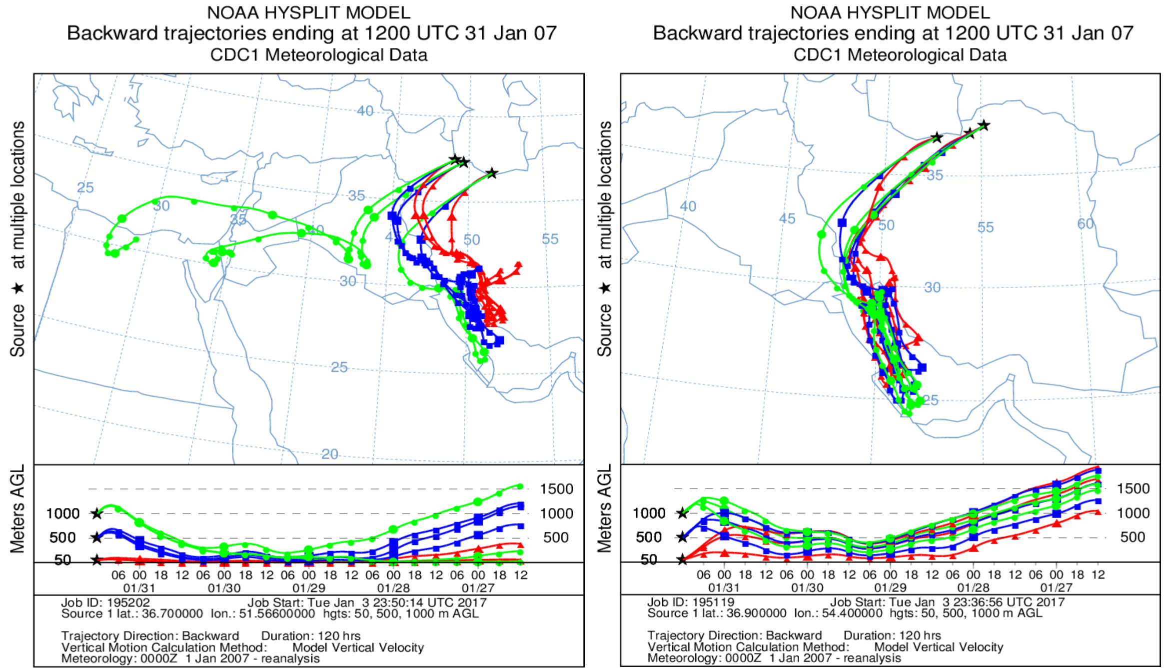


شکل ۱۵- نمودار مقطع قائم فرارفت دما برای طول ۵٤ درجه شرقی و عرض ۲٦ تا ٤۰ درجه شمالی (سمت چپ)، نمودار مقطع قائم تغییرات رطوبت و سرعت باد برای نقطه ۵٤ درجه شرقی و ۳٦.۲ درجه شمالی (سمت راست)-متوسط گیری شده برای کل دوره

۳-٦- ردیابی توده‌های هوای وارد شده به منطقه

برای ردیابی توده‌های هوا در ناحیه خزری، ٦ ایستگاه به‌عنوان نماینده انتخاب شد. به این صورت که در هر استان ۲ ایستگاه انتخاب و از روز دوم آتش‌سوزی (۲٦ ژانویه) تا ۳۱ ژانویه مسیریابی شد. بررسی‌ها در

سه لایه ۵۰، ۵۰۰ و ۱۰۰۰ متری صورت پذیرفت. در سه ایستگاه غربی کانون اصلی خلیج‌فارس بوده و مسیری که توده‌هوا طی کرده و به منطقه رسیده از جنوب غرب می‌باشد. گسترش عمودی حرکتی این بسته هوا حداکثر تا ارتفاع ۱۵۰۰ متری است. در ایستگاه‌های غربی جریان وارد شده به منطقه در ارتفاع ۵۰ متری، از ایران مرکزی حرکت به جنوب داشته و دوباره با جهتی جنوب غربی وارد منطقه ساحلی شده است. در ارتفاع ۵۰۰ متری نیز بسته هوا از روی خلیج‌فارس و مناطق ساحلی آن حرکت کرده و با عبور از مناطق غربی ایران به منطقه موردمطالعه سرازیر شده است. در ایستگاه مرکزی (بابلسر) بسته هوا از مناطق جنوبی ایران مسیریابی شد درحالی‌که در دو ایستگاه رشت و انزلی از شمال دریای سرخ و جنوب مدیترانه وارد مناطق شمالی ایران شده است (شکل ١٦).

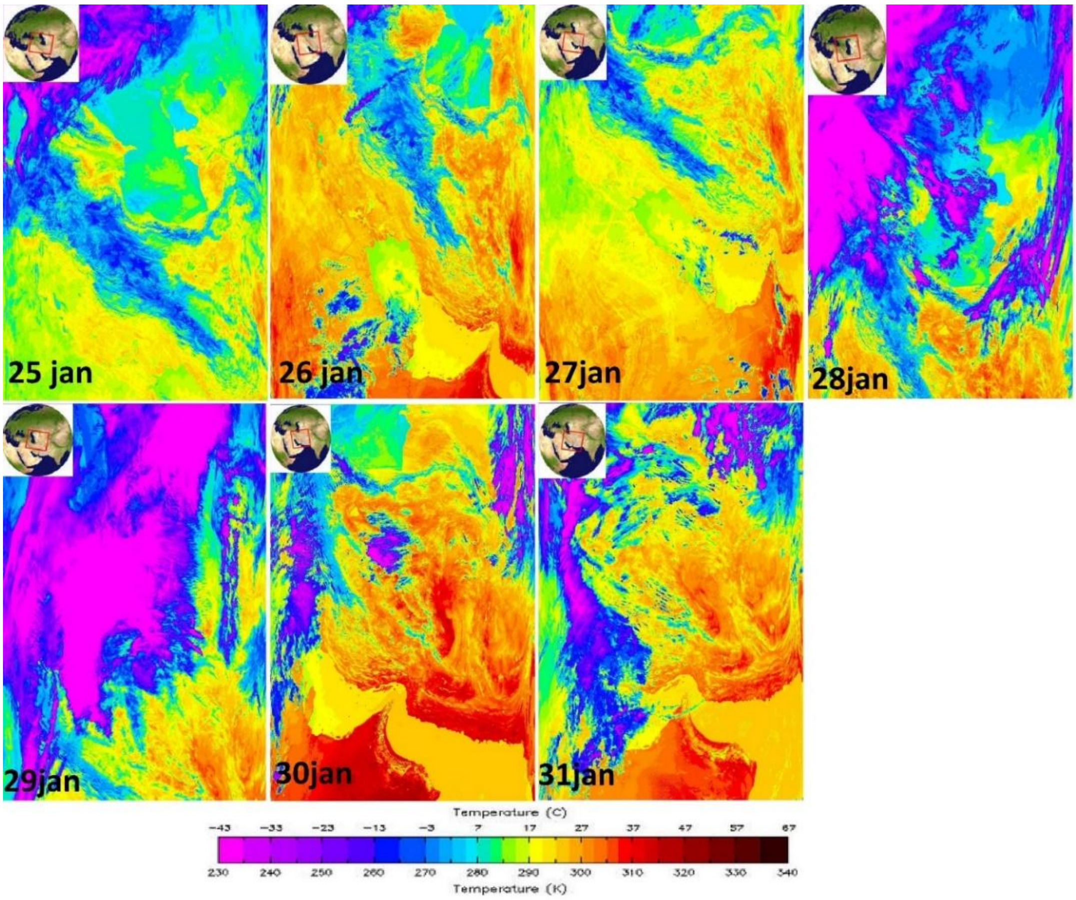


شکل ١٦- مسیریابی توده‌های هوای وارد شده به منطقه خزری با استفاده از مدل پسگرد ذرات معلق در ٦ نقطه از ۲٦ تا ۳۰ ژانویه ۲۰۰۷

۳-۷- وضعیت دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر مودیس

به‌منظور بررسی وضعیت دمای سطح زمین از تصاویر سنجنده مودیس استفاده شد. بررسی‌ها نشان داد در دامنه‌های جنوبی البرز و در مناطقی چون استان‌های قزوین، تهران و سمنان دمای سطح بالا می‌باشد. با حرکت بسته هوا به سمت عرض‌های بالاتر، ضمن صعود از دامنه‌های رو به باد کوهستان، دمای بسته هوا کاهش یافته و به پایین‌تر از ۱ درجه سانتی‌گراد رسیده است. این امر در بررسی وضعیت فرارفت دما مشخص

شد. بدین‌صورت که در دامنه‌های جنوبی و بر روی ارتفاعات دمای هوا افت محسوس داشته است. با نزول هوا به قسمت بادپناه کوهستان، با افزایش بیش از ۱۰ درجه‌ای سانتی‌گراد همراه شده و ناحیه خزری را متأثر ساخته است. این وضعیت در ۷ روز همراه با آتش‌سوزی مشهود بود. با بررسی دقیق‌تر در دامنه‌های جنوب مناطقی که با کاهش شدید دما همراه شده نشان از تشکیل ابر است که این وضعیت در روزهای ۲۸ تا ۳۰ مشاهده می‌شود (شکل ۱۷).



شکل ۱۷- وضعیت دمای سطح زمین با استفاده از تصاویر مودیس

٤- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از بررسی ساختار جوی پدیده فون در زمان رخداد آتش‌سوزی در استان‌های شمالی ایران، نتایج ذیل را در بر داشت. در زمان رخداد پدیده فون در پای دامنه‌های رو به باد کوهستان دما کاهش و با عبور بسته هوا از روی کوهستان و نزول آن بر دامنه‌های شمالی با افزایشی ۵ درجه‌ای همراه شده و که این افزایش با کاهش رطوبت نسبی همراه شده است. از سامانه‌های جوی مؤثر می‌توان به پرفشار سطحی در

ایران مرکزی و پشته قوی در تراز میانی جو اشاره نمود. در سمت بادپناه کم‌فشاری تشکیل شده که در تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال نیز ناوه‌ای با محور شمال–جنوب همراه بوده که سبب شده تا گرادیان فشاری بین پرفشار ایران مرکزی و کم‌فشار واقع در شمال دریای خزر جریانات جنوب بر منطقه حاکم گردد. با انتقال بسته هوا و شارش یافتن آن در دامنه‌های شمالی البرز بادهای شدیدی شروع به وزیدن گرفته و این وزش هوای گرم و خشک سبب شده تا شرایط برای بروز آتش‌سوزی در مناطق مستعد فراهم گردد. با ردیابی و مسیریابی توده‌هوا مشخص شد که جریان هوا از جنوب غرب کشور شروع به حرکت کرده و از دامنه‌های البرز عبور و وارد منطقه شده است. لازم به توضیح است که این وضعیت برای نیمه شرقی ناحیه خزری حاکم بوده ولی برای نیمه غربی و به‌خصوص برای ارتفاع ۱۰۰۰ متری، جریاناتی از سوی شمال آفریقا و دریای سرخ حرکت کرده و وارد منطقه می‌شوند. **جهانبخش و همکاران (۱۳۹۹)** و **حاجی محمدی و همکاران (۱۳۹۶)** نیز در بررسی خود بر روی سازوکار جوی آتش‌سوزی‌های شمال ایران دریافتند که جریانات جنوبی از علل عمده رخداد این پدیده هستند و از طرفی نرخ گرمایش بی دررو نیز طی فرآیند استاتیکی–دینامیکی فون در شمال ایران دارای نوسان بالایی می‌باشد که این وضعیت برای دو دامنه شمالی و جنوبی رشته‌کوه البرز حاکم است.

کتابنامه

– پرنیان، علی؛ ۱۳۸۷. *شرایط ایجاد فون بر روی استان‌های گیلان و مازندران*، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: صفاییان، پرویز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران شمال، دانشکده علوم و فنون دریایی، گروه فیزیک.

– جهانبخش، اسدی، حاجی محمدی، حسن؛ ۱۳۹۹. بررسی الگوهای همدیدی آتش‌سوزی جنگل (مطالعه موردی: جنگل‌های استان گلستان). *فضای جغرافیایی*، ۲۰(۷۰), ۱۹–۳۵.
http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-2704-fa.html

– حاجی محمدی، حسن، باعقیده، محمد، فلاح قالهری، غلامعباس؛ ۱۳۹۶. بررسی ساختار جو در زمان رخداد آتش‌سوزی در شمال ایران. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*. (۲۵)۷، ۱۸۷–۲۰۶.
https://gps.gu.ac.ir/article_54249.html

– حسن پور چماچایی، رضا؛ ۱۳۸۵. *بررسی سینوپتیکی باد گرم و اثر آن بر روی آتش‌سوزی در عرصه‌های جنگلی استان گیلان*، پایان نامه کارشناسی ارشد. استاد راهنما: رضایی، پرویز، دانشگاه آزاد اسلامی واحد رشت. گروه جغرافیا.

– رنجبر سعادت آبادی، عباس، پورمیرزا، جمیله؛ ۱۳۹٤. مطالعه هواشناختی پدیده گرمباد در استان گیلان. *فصلنامه جغرافیا و توسعه*، ۱۳(٤۰)، ٦۹–۹۰. https://doi.org/10.22111/gdij.2015.2099

– شیرزادی، هما؛ ۱۳۷۱. *بررسی اوضاع سینوپتیکی و فیزیکی پدیده فون و اثرات مخرب آن در ایران*، پایان نامه کارشناسی ارشد. استاد راهنما: قائمی، هوشنگ، دانشگاه تهران، مؤسسه ژئوفیزیک، گروه هواشناسی.

- عزیزی قاسم، یوسفی یداله (۱۳۸۸). گرمباد (باد فون) و آتش‌سوزی جنگل در استان‌های مازندران و گـیلان (نمونـه: آتش‌سوزی تاریخ ۲۵-۳۰ آذر ۱۳۸٤)، *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*. شماره ۹۲. ۱۵٤۰۷- ۱۵٤۳٤.
https://www.sid.ir/fa/VEWSSID/J_pdf/55313889201.pdf

- De Wekker, S. F., & Snyder, B. J., 2013. Mountain weather research and forecasting: recent progress and current challenges (Vol. 750). F. K. Chow (Ed.). Dordrecht, The Netherlands: Springer. https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-007-4098-3.
- Drobinski, P., Haeberli, C., Richard, E., Lothon, M., Dabas, A. M., Flamant, P. H & Steinacker, R., 2003. Scale interaction processes during the MAP IOP 12 south föhn event in the Rhine Valley.https://doi.org/10.1256/qj.02.35.
- Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society: A journal of the atmospheric sciences, applied meteorology and physical oceanography, 129(588), 729-753.https://doi.org/10.1256/qj.02.42.
- Gaffin, D. M., 2002. Unexpected warming induced by foehn winds in the lee of the Smoky Mountains. Weather and forecasting,17(4),907-915. https://doi.org/10.1175/1520-0434(2002)017%3C0907:UWIBFW%3E2.0.CO;2.
- Ghavidel, Y., Farajzadeh, M., & Khaleghi Babaei, M., 2016. Synoptic backgrounds of the widest wildfire in Mazandaran Province of Iran during December 11–13, 2010. Meteorology and Atmospheric Physics, 128(6), 763-777. https://link.springer.com/article/10.1007/s00703-016-443-3.
- Grosvenor, D. P., King, J. C., Choularton, T. W., & Lachlan-Cope, T., 2014. Downslope föhn winds over the Antarctic Peninsula and their effect on the Larsen ice shelves. Atmospheric Chemistry and Physics, 14(18), 9481-9509. https://doi.org/10.5194/acp-14-9481-2014.
- Keeley, J. E., 2004. Impact of antecedent climate on fire regimes in coastal California. International Journal of Wildland Fire, 13(2), 173-182. https://www.publish.csiro.au/wf/WF03037.
- Klemp, J. B., & Lilly, D. R., 1975. The dynamics of wave-induced downslope winds. Journal of Atmospheric Sciences, 32(2), 320-339.
https://doi.org/10.1175/1520-0469(1975)032%3C0320:TDOWID%3E2.0.CO;2.
- McGowan, H. A., & Sturman, A. P., 1996. Regional and local scale characteristics of foehn wind events over the South Island of New Zealand. Meteorology and Atmospheric Physics, 58(1), 151-164. https://doi.org/10.1007/BF01027562.
- Mofidi, A., Soltanzadeh, I., Yousefi, Y., Zarrin, A., Soltani, M., Masoompour Samakosh, J., & Miller, S. T., 2015. Modeling the exceptional south Foehn event (Garmij) over the Alborz Mountains during the extreme forest fire of December 2005. Natural Hazards, 75(3), 2489-2518. https://doi.org/10.1007/s11069-014-1440-9.
- Richner, H. and Th. Gutermann., 2007. Statistical analysis of foehn in Altdorf, Switzerland. Extended Abstracts Volume 2, Int. Conf. Alpine Meteorol., June 4 to 8, 2007, Chambéry, France, 457-460.
https://www.researchgate.net/profile/HansRichner/publication/266889652_Statistical_analysisof_foehn_in_Altdorf_Switzerland/links/547330b70cf24bc8ea19c891/Statistical-analysis-of foehn-in-Altdorf-Switzerland.pdf.
- Speirs, J. C., Steinhoff, D. F., McGowan, H. A., Bromwich, D. H., & Monaghan, A. J., 2010. Foehn winds in the McMurdo Dry Valleys, Antarctica: The origin of extreme warming events. Journal of Climate, 23(13), 3577-3598. https://doi.org/10.1175/2010JCLI3382.1.